

- 1 -

(Extracted Translation)

Japanese Laid-Open Patent Application

Laid-Open No.: 2001-27727

Laid-Open Date: Jan. 30, 2001

5 Patent Application No.: 11-199467

Patent Application Filing Date: July 13, 1999

Applicants: Nikon Kabushiki Kaisha

Inventors: Y.Suenaga and T.Miyashita

10 Title of the Invention:

Catadioptric System and Projection Exposure
Apparatus having the Same

Abstract:

15 [Object] To provide a catadioptric system being well corrected for chromatic aberration even in an extra ultraviolet region, having NA (0.6 or larger) necessary for high resolution, and having a least number of reflective and refractive elements.

20 [Solution] It includes a first imaging optical system G1 of catadioptric type, and a second imaging optical system G2 of refraction type for telecentrically forming a final image of a first surface 3 on a second surface 9. The optical
25 system G1 comprises a lens group L1 having at least one positive lens component, a first reflection surface M1 for reflecting light passed

- 2 -

through the lens group, and a second reflection surface M2 for directing light reflected by the surface M1 toward the optical system G2. At least one of the surfaces M1 and M2 comprises a concave reflection surface. The optical system G2 has an aperture stop AS. All the optical element components of the catadioptric system are disposed along a single straight optical axis AX. The first and second surfaces are flat planes approximately parallel to each other, and an exit pupil of the catadioptric system has an approximately circular shape.

(18) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-27727

(P2001-27727A)

(45) 公開日 平成13年1月30日 (2001.1.30)

(51) Int. Cl.	特許記号	F I	テマコード (番号)
G 0 2 B 17/06		G 0 2 B 17/06	A 2 H 0 8 7
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	6 1 6 D 6 1 8

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-199467

(22) 出願日 平成11年7月13日 (1999.7.13)

(71) 出願人 00004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番9号

(72) 発明者 木永 金

東京都千代田区丸の内3丁目2番9号 株式会社ニコン内

(73) 発明者 宮下 豊格

東京都千代田区丸の内3丁目2番9号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100077819

弁理士 井上 雄雄

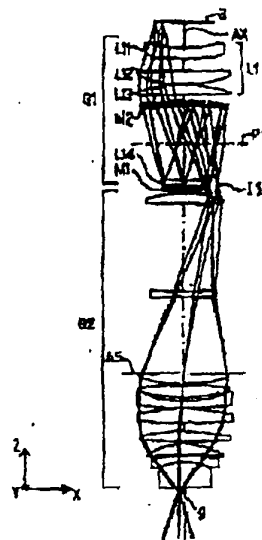
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射屈折光学系及び該光学系を備える投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】極紫外領域であっても良好に色収差補正され、高解像に必要なNA (0.6以上) を有し、反射部材及び屈折部材が極力少ない反射屈折光学系等を提供すること。

【解決手段】 反射屈折型の第1結像光学系G1と、第1面3の最終像を第2面9上にテレセントリックに形成する屈折型の第2結像光学系G2とを備え、光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、前記レンズ群を通過した光を反射する第1反射面M1と、面M1で反射した光を光学系G2へ導くための第2反射面M2とを有し、面M1、M2の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、光学系G2は開口絞りASを有し、前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、第1面と第2面とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。



(2)

特開2001-027777

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面の中間像を形成するための反射屈折型の第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折光学系であって、

前記第1結像光学系は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、前記レンズ群を通過した光を反射する第1の反射面と、前記第1の反射面で反射した光を前記第2結像光学系へ導くための第2の反射面とを有し、
前記第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、前記第2結像光学系は開口絞りを含む、

前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸上に設けられ、前記第1面と前記第2面とは相互にほぼ平行な平面であり、
前記反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形であることを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】 前記第1及び第2の反射面のうちの前記凹面反射面の焦点距離を $fM1$ 、
前記第1面から前記第2面までの光軸に沿った距離を L とそれぞれしたとき、
 $0.04 < |fM1| < L < 0.4$
の条件を満足することを特徴とする請求項1記載の反射屈折光学系。

【請求項3】 前記第1及び第2の反射面のうちの前記凹面反射面の倍率を $\beta M1$ としたとき、
 $0.6 < |\beta M1| < 2.0$
の条件を満足することを特徴とする請求項1又は2記載の反射屈折光学系。

【請求項4】 前記第1結像光学系の倍率を $\beta 1$ としたとき、
 $0.3 < |\beta 1| < 1.8$
の条件を満足することを特徴とする請求項1、2又は3記載の反射屈折光学系。

【請求項5】 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、
前記第1面上に配画された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配画された感光性基板上に投影するための請求項1乃至4の何れか一項に記載の反射屈折光学系とを備えていることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば半導体素子や液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置に好適な反射屈折光学系及び該反射屈折光学系を備えた投影露光装置に関し、特に、走査型投影露光装置に適した反射屈折光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスク又はレチクル（以下、総称して「レチクル」という）上に形成されたパターン像を投影光学系を介して、フォトリソスト等の塗布されたウエハ又はガラスプレート上などに投影露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に要求されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するためには、照明光（露光光）の波長を短くすること及び投影光学系の開口数（以下「NA」という）を大きくすることが必要となる。特に、照明光の波長は、 g 線（ $\lambda = 436\text{nm}$ ）から i 線（ $\lambda = 365\text{nm}$ ）、さらにはKrFレーザ（ $\lambda = 248\text{nm}$ 、 8nm ）へと短波長化が進んでいる。そして、将来はArFレーザ（ $\lambda = 193\text{nm}$ ）、F₂レーザ（ 157nm ）へと移行する可能性が大きい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、照明光の波長が短くなると、光の吸収が大きくなり、実用に耐える材料の種類は限られてしまう。このため、屈折レンズ系のみ、即ち屈折力を有する反射鏡（凹面反射鏡又は凸面反射鏡）を含まないレンズ成分のみで構成された投影光学系では、色収差の補正が不可能となる。また、投影光学系に求められる光学性能は極めて高いため、諸収差をほぼ無収差にまで補正することが望ましい。レンズ成分からなる屈折型投影光学系で所望の光学性能を達成するためには（例えば、特開平5-173065号公報）18枚以上と多くのレンズ成分が必要となり、透過率の低下や製造コストの増大を避けることは困難である。また、200nm以下の極紫外領域の光を使用した場合、材料内部の吸収やレンズ表面の反射防止膜の吸収等が原因で光学性能が劣化するおそれがある。

【0004】 さらに、発振波長が200nm以下のレーザ光源は発振波長域の狭帯化が進んでいても波長にある程度の幅を有している。このため、良好なコントラストを保ったままパターンの投影露光を行うためには、 μm （ピコメートル）オーダーの色消し収差補正が必要となる。上記特開平5-173065号公報に開示された光学系は単一の材料のみで構成されている屈折型レンズ系であるため、色収差が大きく、波長幅を有する光源には使用できないという問題がある。

【0005】 これに対して、凹面反射鏡等のパワー（屈折力）を利用する反射型の光学系は色収差を生じることがなく、ベッツバル和に関してレンズ成分とは符号が逆の寄与を示す。このため、反射光学系と屈折光学系とを組み合わせた光学系、いわゆる反射屈折型の光学系（以下、「反射屈折光学系」という）は、レンズ枚数の増加を招くことなく、色収差をはじめ各種収差をほぼ無収差にまで良好に補正することができる。従って、反射

(3)

特開2001-027727

屈折光学系とは、少なくとも1つのレンズ成分と、屈折力を有する少なくとも1つの反射鏡とを含む光学系である。

【0006】しかし、投影露光装置の投影光学系の光路中に凹面反射鏡を用いると、レチクル側からこの凹面反射鏡に入射した光が反射されて再び元のレチクル側へ逆進してしまう。このため、凹面鏡に入射する光の光路と凹面反射鏡で反射される光の光路とを分離するとともに凹面反射鏡からの反射光をウェハ方向へ導くための技術が、すなわち反射屈折光学系により投影光学系を構成する種々の技術が、従来より多く提案されている。

【0007】しかし、例えば特開平5-281469号公報に開示された光学系のようにビームスプリッタを用いると、光学系を製造するための大型部材を確保することが困難である。また、特開平6-51718号公報に開示された光学系では、光路折り曲げミラー（フォールディングミラー）又はビームスプリッタが必要となり、光学系を製造するために複数の鏡面を要し、製造が困難であること、又は光学部品の調整が困難であること等の問題を生じている。このように、反射屈折型の光学系で必要に応じて設けられている光路偏向用の平面反射鏡（折り曲げミラー）に対しては光線が斜め方向から入射する、このため、極めて高い面精度が必要とされるので、製造することが困難である。さらに、該平面反射鏡は振動に弱いという問題も有している。

【0008】また、米国特許第5,717,518号公報に開示された光路分離方法を用いると、光学系を構成するすべての光学要素を単一の光軸に沿って配置することができる。その結果、投影光学系において従来から用いられている光学部品の調整方法に従って高精度に光学系を製造することが可能である。しかし、光軸上を進行してくる光を遮光するために中心遮蔽が必要なことから特定の周波数のパターンでコントラストの低下が起きてしまうという問題がある。

【0009】加えて、極紫外領域では十分な光学性能を有する反射防止膜を製造することが困難であるので、光学系を構成する光学部材の数をできるだけ減らしたいという要求もある。

【0010】以上述べたことから例えば0.18 μ m以下の波長を有するパターンを焼き付けるためには、ArF又はF₂レーザ等の波長が200nm以下の光源を使用した場合でも色収差補正能力に優れ、中心遮蔽を行わず、NAが0.6以上の高開口数を確保でき、屈折部材、反射部材が極力少ない光学系が望ましい。

【0011】本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、極紫外領域、特に波長が200nm以下であっても良好に色収差補正され、高解像に必要なNA（0.6以上）を有し、反射部材及び屈折部材が極力少ない反射屈折光学系及び該光学系を備える投影露光装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、第1面の中間像を形成するための反射屈折型の第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折光学系であって、前記第1結像光学系は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、前記レンズ群を通過した光を反射する第1の反射面と、前記第1の反射面で反射した光を前記第2結像光学系へ導くための第2の反射面とを有し、前記第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、前記第2結像光学系は開口絞りを含む、前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸上に設けられ、前記第1面と前記第2面とは相互にほぼ平行な平面であり、前記反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形であることを特徴とする反射屈折光学系を提供する。ここで、第2の反射面は第1面からの光を第1の反射面の方向へ通過又は透過させるために軸外に開口部（孔）を有し、第1の反射面も前記第2の反射面で反射した光を第2結像光学系の方向へ通過又は透過させるための開口部（孔）を有している。射出瞳はほぼ円形であるとは、光軸の中心近傍に遮蔽物が存在しないことを意味している。

【0013】また、本発明は、前記第1及び第2の反射面のうちの前記凹面反射面の焦点距離をfM1、前記第1面から前記第2面までの光軸に沿った距離をLとしたとき、

$$0.04 < |fM1| < L < 0.4$$

の条件を満足することが望ましい。

【0014】また、本発明は、前記第1及び第2の反射面のうちの前記凹面反射面の倍率を $\beta M1$ としたとき、

$$0.6 < |\beta M1| < 2.0$$

の条件を満足することが望ましい。

【0015】また、本発明は、前記第1結像光学系の倍率を $\beta 1$ としたとき、

$$0.3 < |\beta 1| < 1.8$$

の条件を満足することが望ましい。

【0016】また、本発明は、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上に投影するための請求項1乃至4のいずれか1項に記載の反射屈折光学系とを備えていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、添付図面の符号を用いて本発明にかかる反射屈折光学系について説明する。第1面3の中間像I1を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像からの光に基づいて第1面3の最終像を第2面9（ウェハ面、即ち最終像面）上にテレセ

50

(4)

特開2001-027777

ントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系G2とを備えた反射屈折光学系である。第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群と、前記レンズ群を通過し、ほぼコリメートされた光を反射する第1の反射面M1と、前記第1の反射面M1で反射した光を前記第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2とを有し、前記第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面である。また、前記第2結像光学系G2は開口絞りASを有し、前記反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、前記第1面3と前記第2面8とは相互にほぼ平行な平面であり、前記反射屈折光学系の射出域はほぼ円形である。本発明では、投影される有効領域を輪帯形状とすること、及び反射面M1、M2を適切な位置に設けることで光学素子どうしの物理的干渉を避け、構造的に無理の無い反射屈折光学系を達成している。

【0018】また、本発明では、以下の条件式(1)を満足することが望ましい。

$$(1) \quad 0.04 < |fM1| < L < 0.4$$

ここで、 $fM1$ は第1及び第2の反射面のうちの凹面反射面の焦点距離、 L は第1面3から第2面8までの光軸AXに沿った距離をそれぞれ表している。条件式(1)は凹面反射面の適切なパワーの範囲を規定している。本発明の光学系では屈折レンズで生じる正のベッツパール和を凹面鏡の負のベッツパール和で補正している。条件式(1)の上限値を上回ると屈折レンズによるベッツパール和を補正できず、像の平坦性が悪化する。逆に、条件式(1)の下限値を下回ると、ベッツパール和が補正過剰となり同様に像の平坦性が悪化する。

【0019】また、本発明では、以下の条件式(2)を満足することが望ましい。

$$(2) \quad 0.6 < |\beta M1| < 2.0$$

ここで、 $\beta M1$ は前記第1及び第2の反射面のうちの前記凹面反射面の倍率を表している。条件式(2)は凹面反射鏡の適切な倍率の範囲を規定している。条件式

(2)の上限値を上回る、又は下限値を下回ると第1結像系G1の対称性が著しく損なわれ、コマ収差が大きく発生し像の悪化を招いてしまう。

【0020】また、本発明では、以下の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$(3) \quad 0.3 < |\beta 1| < 1.8$$

ここで、 $\beta 1$ は第1結像光学系G1の倍率である。条件式(3)は第1結像光学系G1の適切な倍率の範囲を規定している。条件式(3)の上限値を上回る、又は下限値を下回るとパワーのバランスが崩れ歪曲収差(ディストーション)、コマ収差の原因となり、結像性能を悪化させる。

【0021】また、本発明では、第1結像光学系G1は光軸AXに垂直な平面P1内において、当該平面を少な

くとも3回横切る光線が存在することが望ましい。第1面3からの光はレンズ群L1で屈折された後平面P1を透過(1回目)して反射面M1に入射・反射し再び平面P1を透過(2回目)して反射面M2に入射する。そして、反射面M2で反射された後再び平面P1を透過(3回目)後、中間像I1を形成する。そして、像の有効領域を輪帯形状にしたことで光線と反射面M1、M2間の光学素子とが物理的に干渉すること無しに配置することができ。

【0022】また、本発明の反射屈折光学系は、上述のように第2面(ウエハ面)9側にテレセントリックであるが、さらに加えて第1面(レチクル面)3側に対してもテレセントリックであることが望ましい。

【0023】以下、本発明の実施例を添付図面に基いて説明する。図1は、本発明の各実施例にかかる投影光学系を備えた投影露光装置の全体構成を概念的に示す図である。なお、図1において、投影光学系を構成する露光光学系8の光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にX軸を、紙面に垂直にY軸を設定している。また、投影光学系8の物体面には所定の回路パターンが形成された投影原版としてレチクル3が配置され、投影光学系8の像面には、基板としてのフォトリソが塗布されたウエハ9が配置されている。

【0024】光源1から射出された光は、照明光学系2を介して、所定のパターンが形成されたレチクル3を単一に照明する。光源1から照明光学系2までの光路には、必要に応じて光路を変更するための1つ又は複数の折り曲げミラーが配置される。

【0025】また、照明光学系2は、例えば露光光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズや内面反射型インテグレートからなり所定のサイズ・形状の面光源を形成するオプティカルインテグレートや、レチクル3上での照明領域のサイズ・形状を規定するための可変視野絞り(レチクルブラインド)、この視野絞りの像をレチクル上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系を有する。なお、光源1から視野絞りまでの光学系として、例えば米国特許第5,345,292号に開示された照明光学系を適用することができ。

【0026】レチクル3は、レチクルホルダ4を介して、レチクルステージ5上においてXY平面に平行に保持されている。レチクル3には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体が照明光学系2からの光で照明される。レチクルステージ5は、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面(すなわちXY平面)に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡6を用いた干渉計7によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0027】レチクル3に形成されたパターンからの光は、投影光学系8を介して、感光性基板であるウエハ9

(5)

特開2001-027727

上にマスクパターン像を形成する、投影光学系8は、その位置近傍に口径が可変の開口絞りAS(図2参照)を有すると共に、レチクル3側及びウエハ9側において、実質的にテレセントリックとなっている。

【0028】ウエハ9は、ウエハホルダ10を介して、ウエハステージ11上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクル3上での照明領域と実質的に相似形状の露光領域にパターン像が形成される。

【0029】ウエハステージ11は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ9(すなわちXY平面)に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動量12を用いた干渉計13によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0030】上述したように、投影光学系8によって規定されるマスク3上の視野領域(照明領域)及びウエハ9上の投影領域(露光領域)は、X方向に沿って矩形状を有する矩形状である。従って、駆動系及び干渉計(7, 13)などを用いてマスク3及びウエハ9の位置合わせを行い、図示を省略したオートフォーカス/オートレベリング系を用いてウエハ9を投影光学系の結像面に位置決めする。そして、矩形状の露光領域及び照明領域の短辺方向すなわちX方向に沿ってマスクステージ5とウエハステージ11とを、ひいてはマスク3とウエハ9とを同様に移動(走査)させることにより、ウエハ9上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハ9の走査量(移動量)に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。

【0031】なお、光線1からウエハ9までの光路の全体にわたって露光光がほとんど吸収されることのない窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスの雰囲気形成されている。

【0032】(第1実施例) 図2は、第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。レチクル(第1面)3の中間像I1を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像I1からの光に基づいてレチクル面3の最終像をウエハ(第2面)9上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学

系G2とを備えた反射屈折光学系である。

【0033】第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を透過した光を反射する第1の反射面M1と、第1の反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2とを有し、第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、第2結像光学系G2は開口絞りASを有している。そして、反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、レチクル面3とウエハ面9とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。

【0034】第1実施例にかかる投影光学系の諸元値を表1に掲げる。表1において、左端の番号はレチクル3(第1物体面)側からのレンズ面の順序、rは該当レンズ面の曲率半径、dは該当レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の間隔、 β は反射屈折光学系全体の倍率、NAはウエハ側(第2面側)の開口数、 λ は基準波長をそれぞれ示している。また、第1実施例における材料の屈折率は第2実施例でも同様である。

【0035】さらに、レンズデータ中のASPは非球面を示している。各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)をZとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数をkとし、n次の非球面係数をA~Fとしたとき、以下の数式で表される。

【0036】

$$Z = \frac{y^2/r}{[1 + \{1 - (1+k) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y^{12} + F \cdot y^{14}}$$

【0037】なお、以下全ての実施例の諸元値において、本実施例と同様の符号を用いる。ここで、各実施例の諸元値における曲率半径r、光軸上間隔dの単位の一例としてmmを用いることができる。

【0038】

【表1】

番号	r	d	材料
1:	-211.97583	30.000000	SiO ₂
2:	-354.80161	35.347349	
3:	-8888.21082	38.000000	SiO ₂
4:	-227.78980	0.944908	
5:	302.84978	27.415767	SiO ₂

ASP:

k=0.000000

A=0.743561×10⁻⁸ B=-0.230589×10⁻¹² C=-0.115168×10⁻¹⁷

D=-0.763145×10⁻²²

(6)

特開2001-020000

6: 227834.15996 80.000000
 7: (平面) 214.776416
 8: -248.87932 12.000000 SiO_2
 9: 4267.07121 5.579827
 10: -362.24910 -5.579827 (反射面)

ASP:

 $\kappa = 2.260270$

$A = +0.859110 \times 10^{-8}$ $B = +0.251935 \times 10^{-12}$ $C = -0.100064 \times 10^{-15}$
 $D = +0.318170 \times 10^{-19}$ $E = -0.489883 \times 10^{-23}$

11: 4267.07087 -12.000000 SiO_2
 12: -348.87932 -214.776416
 13: 642.80918 246.776416 (反射面)

ASP:

 $\kappa = 1.840470$

$A = 0.198225 \times 10^{-8}$ $B = 0.556479 \times 10^{-13}$ $C = 0.697091 \times 10^{-18}$
 $D = 0.492729 \times 10^{-22}$ $E = -0.103460 \times 10^{-26}$

14: 208.71115 31.000000 SiO_2
 15: -2528.73920 257.546203
 16: -1810.41831 14.500000 SiO_2

ASP:

 $\kappa = 0.000000$

$A = -0.885923 \times 10^{-7}$ $B = -0.200044 \times 10^{-11}$ $C = -0.570861 \times 10^{-16}$
 $D = +0.456578 \times 10^{-22}$ $E = -0.463085 \times 10^{-26}$

17: 851.98207 220.408225
 18: 15200.59098 30.000000 SiO_2
 19: -268.76516 0.200000
 20: 434.95005 88.013163 CaF_2

ASP:

 $\kappa = 0.000000$

$A = -0.161280 \times 10^{-7}$ $B = +0.153088 \times 10^{-12}$ $C = +0.108604 \times 10^{-17}$
 $D = +0.319975 \times 10^{-21}$ $E = -0.101080 \times 10^{-25}$

21: -346.82883 10.489902
 22: -315.91874 20.000000 SiO_2
 23: -619.86152 0.200000
 24: 418.08345 40.000000 SiO_2
 25: -1275.90912 28.288090
 26: 324.91386 35.000000 SiO_2
 27: -740.00709 5.214992

ASP:

 $\kappa = 0.000000$

$A = +0.138330 \times 10^{-7}$ $B = +0.194125 \times 10^{-12}$ $C = -0.258260 \times 10^{-18}$
 $D = -0.196082 \times 10^{-22}$ $E = +0.863529 \times 10^{-26}$

28: 140.81060 34.000000 SiO_2
 29: 1406.88948 0.600000
 30: 355.40089 17.508089 SiO_2
 31: 88.27408 1.661373
 32: 105.27944 75.940555 SiO_2
 33: 1597.37798 12.920542

(屈折率の展折率)

(7)

特開2001-027727

$\lambda = 193.8 \text{ nm} \pm 0.48 \text{ pm}$	$\lambda = 193.3 \text{ nm}$	$\lambda = 193.8 \text{ nm} - 0.48 \text{ pm}$
SiO_2 1.56031536	1.5602261	1.56032555
CaF_2 1.50145434	1.5014548	1.50145526
(条件式対応値)		

$$(1) |fM1| = 181.1246/1550 = 0.12417$$

$$(2) |fM2| = 1-1.21007 = 1.21007$$

$$(3) |fI| = |-1.1454| = 1.1454$$

【0039】図9は本実施例の反射屈折光学系の子午方向（タンジェンシャル方向）及び球欠方向（サジタル方向）における収差（コマ収差）を示している。図にお
いて、Yは像高を表し、実際は基準波長（ $\lambda = 193.3 \text{ nm}$ ）の点線は $\lambda = 193.8 \text{ nm} \pm 0.48 \text{ pm}$ 、一点鎖線は $\lambda = 193.3 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 193.8 \text{ nm} - 0.48 \text{ pm}$ をそれぞれ示している（第2実施例も同様）。なお、以下全ての実施例の収差図において本実施例と同様の符号を用いる。収差図より明らかなように、本実施例の反射屈折光学系は、使用する硝材の収差による結像性能の低下を抑えた上、両側テレセントリックであるにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されていることがわかる。

【0040】（第2実施例）図4は、第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。レチクル（第1面）3の中間像11を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像11からの光に基づいて第1面3の最終像をウエハ（第2面）9上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系G

2とを備えた反射屈折光学系である。

【0041】第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を透過した光を反射する第1の反射面M1と、第1の反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2とを有し、第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、第2結像光学系G2は開口絞りASを有している。そして、反射屈折光学系が有する全ての光学系子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、ウエハ面3とレチクル面9とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。

【0042】第2実施例にかかる反射屈折光学系の諸元値を表2に掲げる。なお、表2中の符号は表1と同様の定義であり、非球面ASPは前述の式で表される。

【0043】

【表2】

$ fI = 1/6$			
$NA = 0.75$			
$\lambda = 193.3 \text{ nm}$			
番号	r	d	硝材
1:	621.54601	23.000000	SiO_2
2:	-191794.5079	0.944905	
3:	194.28987	30.000000	SiO_2
ASP:			
$\kappa = 0.000000$			
$A = -0.155338 \times 10^{-8}$			
$B = -0.140791 \times 10^{-12}$			
$C = +0.176234 \times 10^{-17}$			
$D = -0.155625 \times 10^{-21}$			
4:	452.68236	300.000000	
5:	-588.88426	12.000000	SiO_2
6:	1108.79674	5.000000	
7:	-482.64964	-5.000000	(反射面)
ASP:			
$\kappa = 7.430564$			
$A = +0.189000 \times 10^{-8}$			
$B = -0.957829 \times 10^{-12}$			
$C = -0.122172 \times 10^{-15}$			
$D = +0.305937 \times 10^{-19}$			
8:	1108.79671	-12.000000	SiO_2
9:	-589.38426	-271.707398	
10:	465.38924	477.585323	(反射面)
ASP:			
$\kappa = 0.000000$			
$A = +0.434189 \times 10^{-9}$			
$B = +0.327008 \times 10^{-14}$			
$C = +0.380429 \times 10^{-19}$			

(8)

特開2001-027000

$D = -0.622589 \times 10^{-24}$
 > 11: 300.69546 28.000000 SiO_2
 12: -3836.44327 181.627911
 13: -4996.75666 15.000000 SiO_2
 ASP:
 $\kappa = 0.000000$
 $A = -0.601871 \times 10^{-7}$ $B = -0.111866 \times 10^{-11}$ $C = -0.177478 \times 10^{-16}$
 $D = +0.104425 \times 10^{-23}$ $E = -0.236872 \times 10^{-26}$
 14: 1681.22452 164.229823
 15: 781.43970 32.000000 SiO_2
 16: -416.24487 7.787594
 17: 385.90210 42.198650 CaF_2
 ASP:
 $\kappa = 0.000000$
 $A = -0.127289 \times 10^{-7}$ $B = +0.112712 \times 10^{-12}$ $C = -0.237720 \times 10^{-18}$
 $D = +0.282036 \times 10^{-21}$ $E = -0.177785 \times 10^{-26}$
 18: -325.55463 16.576364
 19: -220.30976 20.000000 SiO_2
 20: -785.81144 9.062759
 21: 259.10784 37.871908 SiO_2
 22: -1575.91947 1.464560
 23: 235.63612 32.000000 SiO_2
 24: -2200.62013 1.000000
 ASP:
 $\kappa = 0.000000$
 $A = +0.198616 \times 10^{-7}$ $B = -0.108623 \times 10^{-12}$ $C = -0.106669 \times 10^{-16}$
 $D = -0.456071 \times 10^{-21}$ $E = +0.853932 \times 10^{-26}$
 25: 159.89570 32.600000 SiO_2
 26: 2151.78885 0.000000
 27: 406.09988 9.500000 SiO_2
 28: 68.76384 4.196119
 29: 70.58706 75.473363 SiO_2
 30: 2340.17874 9.379567
 (条件式対称値)
 (1) $|fM1| = 241.3248/1339.26 = 0.18019$
 (2) $|BM1| = |-12.51| = 12.51$
 (3) $|B1| = |-0.8135| = 0.8135$

【0044】図5は第2実施例にかかる光学系の横収差 40 図である。図からも明らかなように露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されていることがわかる。

【0045】(第3実施例) 図6は、第3実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。レチクル(第1面)3の中間像I1を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像I1からの光に基づいて第1面3の最終像をウエハ(第2面)9上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系G2とを備えた反射屈折光学系である。

【0046】第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を通過した光を反射する第1の反射面M1と、第1の反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2とを有し、第1及び第2の反射面の少なくともいずれか一方は凹面反射面であり、第2結像光学系G2は開口絞りASを有している。そして、反射屈折光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に設けられ、ウエハ面3とレチクル面9とは相互にほぼ平行な平面であり、反射屈折光学系の射出瞳はほぼ円形である。

(9)

特開2001-027727

【0047】第3実施例にかかる反射屈折光学系の諸元
値を表3に掲げる。なお、表3中の符号は表1と同様の
定義であり、非球面ASPは前述の式で表される。

【0048】

【表3】

$$|\beta| = 1/4$$

$$NA = 0.75$$

$$\lambda = 157.5 \text{ nm}$$

番号	r	d	材料
1:	314.89361	22.000000	CaF ₂
2:	-324.85900	37.000000	

ASP:

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = -0.222218 \times 10^{-7} \quad B = +0.947150 \times 10^{-12} \quad C = -0.128822 \times 10^{-16}$$

$$D = -0.190103 \times 10^{-20} \quad E = -0.385978 \times 10^{-25}$$

3:	-639.17871	23.000000	CaF ₂
----	------------	-----------	------------------

ASP:

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = -0.108326 \times 10^{-7} \quad B = +0.924937 \times 10^{-12} \quad C = -0.326453 \times 10^{-16}$$

$$D = -0.342866 \times 10^{-20} \quad E = +0.122323 \times 10^{-25}$$

4:	-218.93314	245.763430	
5:	-108.60441	10.000000	CaF ₂

ASP:

$$\kappa = 0.495309$$

$$A = 0.486676 \times 10^{-7} \quad B = 0.492347 \times 10^{-11} \quad C = -0.606490 \times 10^{-16}$$

$$D = 0.180500 \times 10^{-18} \quad E = -0.766803 \times 10^{-23} \quad F = 0.138880 \times 10^{-26}$$

6:	-2160.76278	14.249881	
7:	-166.84978	-14.249561	(反射面)

ASP:

$$\kappa = 1.132286$$

$$A = +0.201000 \times 10^{-7} \quad B = +0.102160 \times 10^{-11} \quad C = -0.209896 \times 10^{-16}$$

$$D = +0.128526 \times 10^{-19} \quad E = +0.429851 \times 10^{-24} \quad F = -0.160023 \times 10^{-29}$$

8:	-2160.76278	-10.000000	CaF ₂
9:	-108.60441	-245.763430	

ASP:

$$\kappa = 0.495309$$

$$A = 0.486676 \times 10^{-7} \quad B = 0.492347 \times 10^{-11} \quad C = -0.606490 \times 10^{-16}$$

$$D = +0.180500 \times 10^{-18} \quad E = -0.766803 \times 10^{-23} \quad F = +0.138880 \times 10^{-26}$$

10:	-218.93314	-23.000000	CaF ₂
11:	-639.17869	-4.391997	

ASP:

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = -0.108326 \times 10^{-7} \quad B = +0.924936 \times 10^{-12} \quad C = -0.326453 \times 10^{-16}$$

$$D = -0.342866 \times 10^{-20} \quad E = +0.122323 \times 10^{-25}$$

12:	-1183.44883	4.391997	(反射面)
-----	-------------	----------	-------

ASP:

$$\kappa = 0.000000$$

$$A = -0.163262 \times 10^{-10} \quad B = -0.246349 \times 10^{-12} \quad C = +0.147599 \times 10^{-16}$$

$$D = +0.122045 \times 10^{-20} \quad E = -0.115790 \times 10^{-25}$$

13:	-639.17869	23.000000	CaF ₂
-----	------------	-----------	------------------

ASP:

(10)

特開2001-02772

$\kappa=0.000000$
 $A=-0.108226 \times 10^{-7}$ $B=+0.924986 \times 10^{-12}$ $C=-0.328453 \times 10^{-16}$
 $D=-0.242966 \times 10^{-20}$ $E=+0.132223 \times 10^{-25}$
14: -318.93314 300.762420
15: 756.86008 41.000000 CaF_2
16: -412.30872 15.942705

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=+0.361860 \times 10^{-8}$ $B=+0.893121 \times 10^{-14}$ $C=+0.135118 \times 10^{-18}$
 $D=-0.735266 \times 10^{-22}$ $E=+0.151108 \times 10^{-27}$
17: 382.45831 36.000000 CaF_2
18: 2411.92028 120.195586
19: 203.57223 23.870908 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=-0.666118 \times 10^{-8}$ $B=-0.226767 \times 10^{-12}$ $C=-0.790187 \times 10^{-19}$
 $D=-0.460596 \times 10^{-21}$ $E=0.210563 \times 10^{-25}$ $F=-0.570908 \times 10^{-30}$
20: 174.15615 417.834922
21: 164.52297 20.000000 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=+0.162241 \times 10^{-7}$ $B=+0.610521 \times 10^{-12}$ $C=+0.252256 \times 10^{-16}$
 $D=-0.160451 \times 10^{-20}$ $E=+0.326870 \times 10^{-23}$ $F=-0.192886 \times 10^{-27}$
22: 746.82568 20.284156
23: 93.58470 23.000000 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=-0.267761 \times 10^{-7}$ $B=+0.970828 \times 10^{-12}$ $C=+0.117557 \times 10^{-16}$
 $D=+0.718108 \times 10^{-19}$ $E=-0.162733 \times 10^{-22}$ $F=+0.586684 \times 10^{-26}$
24: 253.98845 21.338588
25: -129.21983 16.000000 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=-0.588690 \times 10^{-8}$ $B=0.461959 \times 10^{-12}$ $C=0.130813 \times 10^{-14}$
 $D=-0.849445 \times 10^{-19}$ $E=-0.122125 \times 10^{-22}$ $F=+0.290566 \times 10^{-26}$
26: -219.48622 1.000000
27: 102.75126 19.500000 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.000000$
 $A=-0.862905 \times 10^{-7}$ $B=-0.119006 \times 10^{-10}$ $C=-0.124879 \times 10^{-14}$
 $D=-0.387913 \times 10^{-18}$ $E=-0.451018 \times 10^{-22}$ $F=+0.119728 \times 10^{-26}$
28: 593.36880 1.000000
29: 83.17946 18.815828 CaF_2

ASP:

$\kappa=0.111409$
 $A=-0.393239 \times 10^{-7}$ $B=-0.723984 \times 10^{-11}$ $C=-0.679503 \times 10^{-14}$
 $D=-0.115217 \times 10^{-17}$ $E=-0.763652 \times 10^{-22}$ $F=+0.351047 \times 10^{-26}$
30: 197.09247 1.000000
31: 110.23581 43.898536 CaF_2

ASP:

(11)

特開2001-027727

$$\begin{aligned}
 & \kappa = 0.000000 \\
 & A = +0.860436 \times 10^{-9} \quad B = +0.126341 \times 10^{-10} \quad C = +0.168625 \times 10^{-13} \\
 & D = +0.782386 \times 10^{-17} \quad E = -0.233726 \times 10^{-20} \quad F = +0.338624 \times 10^{-24} \\
 & 32: \quad \infty \text{ (平面)} \quad 9.100000 \\
 & \text{(硝材の屈折率)} \\
 & \lambda = 157.6 \text{ nm} + i.29 \text{ pm} \quad 157.6 \text{ nm} \quad 157.6 \text{ nm} - i.29 \text{ pm} \\
 & \text{CaF}_2 \quad 1.55999388 \quad 1.56 \quad 1.58000617 \\
 & \text{(条件式対応値)} \\
 & (1) \quad |fM1| = 82.8749/1350 = 0.06124 \\
 & (2) \quad |BM1| = |-0.96128| = 0.96128 \\
 & (3) \quad |B1| = |-1.4453| = 1.4453
 \end{aligned}$$

【0049】図6は第3実施例にかかる光学系の横収差図である。図において、Yは像高を渡し、矢線は基準波長 ($\lambda = 157.6 \text{ nm}$)、点線は $\lambda = 157.6 \text{ nm} + i.29 \text{ pm}$ 、一点鎖線は $\lambda = 157.6 \text{ nm} - i.29 \text{ pm}$ をそれぞれ示している。図からも明らかなように露光領域の全てにおいて、収差がバランスよく補正されていることがわかる。

【0050】さて、上記実施例は、円弧形状 (輪形状 20 を部分的に切り出した形状) の露光領域を用いてウエハの各ショット領域へ露光を行う際に、マスクとウエハとを投影倍率 β を速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式 (走査露光方式) の走査型投影露光装置に適用している。しかし、露光フィールドが例えば $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 程度の小フィールドであれば、ウエハ上の1つのショット領域へマスクパターン像を一括的に転写した後に、投影光学系の光軸と直交する面内でウエハを逐次二次元的に移動させて次のショット領域にマスクパターン像を一括的に転写する工程を繰り返すステップ・アンド・リピート方式 (一括露光方式) の投影露光装置にも適用できる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット状 (所定の方向に延びた形状、例えば細長い矩形状、台形状、細長い六角形状、円弧形状など) の露光領域内で良好な結像特性が得られればよいので、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域に露光を行うことができる。

【0051】ところで、上記実施例では、半導体素子の製造に用いられる投影露光装置に本発明を適用している。しかしながら、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、有機素子 (CCDなど) の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0052】なお、本発明は上述の実施の形態に限定さ 50

れることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることはいうまでもない。

【0053】また、本発明は以下の (A) 又は (B) に記載の構成とすることもできる。

(A) 前記反射屈折光学系を構成する全ての屈折部材は単一の硝材又は螢石を含む複数の硝材からなることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の反射屈折光学系。

(B) 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上に投影するための請求項1乃至4の何れか一項又は上記 (A) に記載の反射屈折光学系とを備え、前記照明光学系は 250 nm 以下の波長の光を供給することを特徴とする投影露光装置。

【0054】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、極紫外領域、特に波長が 200 nm 以下であっても良好に色収差補正され、高解像に必要な NA (0.6以上) を有し、反射部材及び屈折部材が極力少ない反射屈折光学系を提供できる。また、反射部材等が少ないため極紫外領域においても吸収が少なく露光光を有効に使用できる。さらに、本発明の投影露光装置によれば、上記反射屈折光学系を備えているため、極紫外光を用いて微細なマスクパターン像を正画に転写できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例にかかる反射屈折光学系を備える投影露光装置の構成を示す図である。

【図2】第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図3】第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図4】第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図5】第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図6】第3実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構

(12)

特開2001-02772

成を示す図である。

【図7】第3実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 2 照明光学系
- 3 マスク
- 4 マスクホルダ
- 5 マスクステージ
- 6, 12 移動鏡
- 7, 13 干渉計

B 投影光学系（反射屈折光学系）

9 ウエハ

10 ウエハホルダ

11 ウエハステージ

AX 光軸

G1 第1部像光学系

G2 第2部像光学系

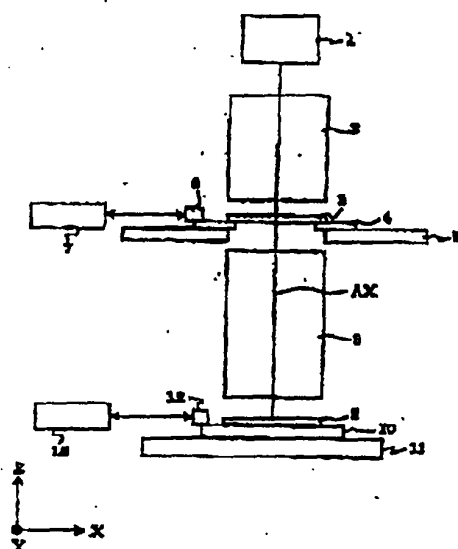
AS 開口絞り

M1 第1の反射鏡

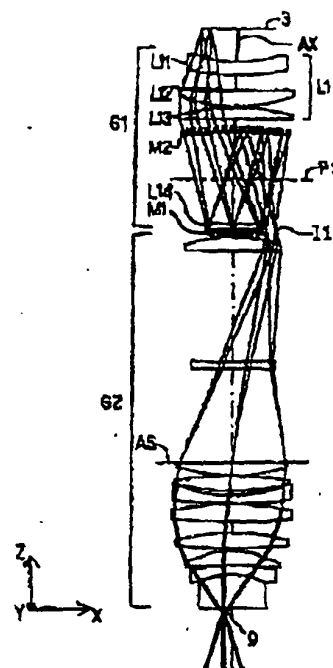
10 M2 第2の反射鏡

Li 各レンズ成分

【図1】



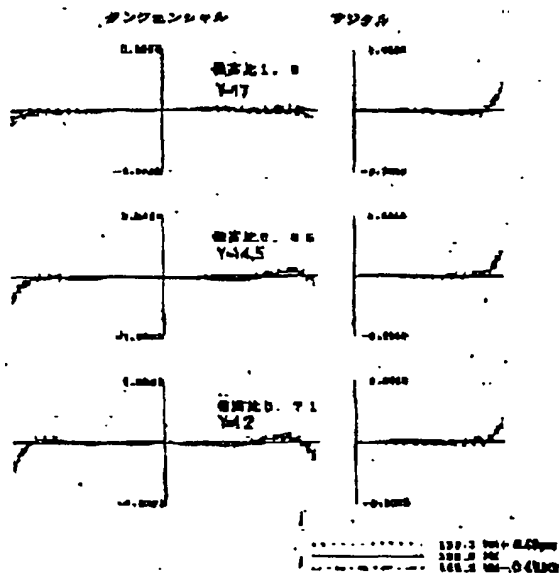
【図2】



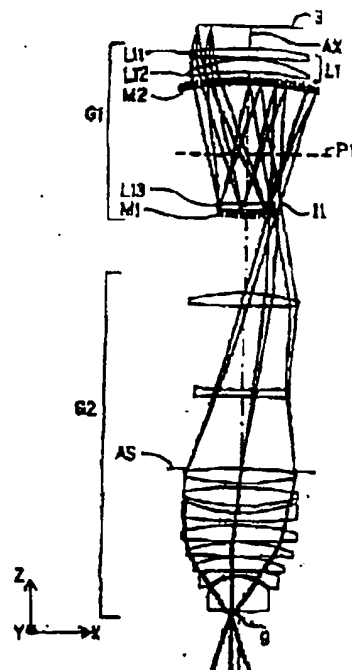
(18)

特開2001-027727

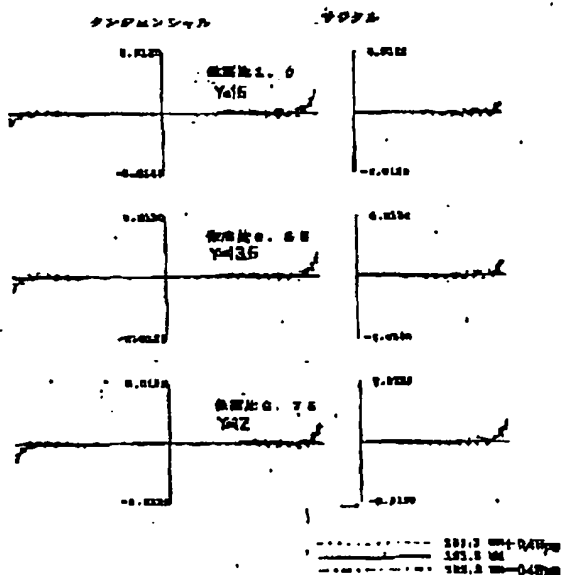
【図3】



【図4】



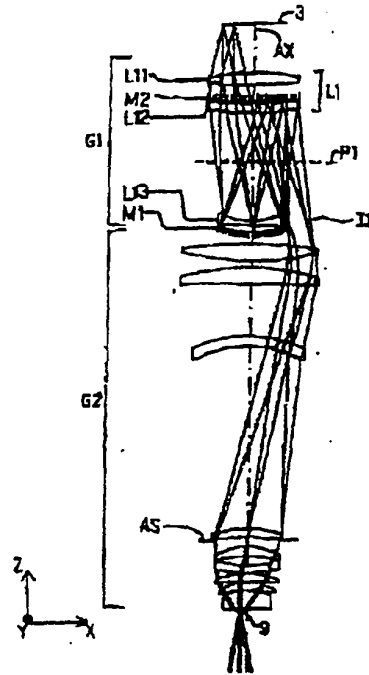
【図5】



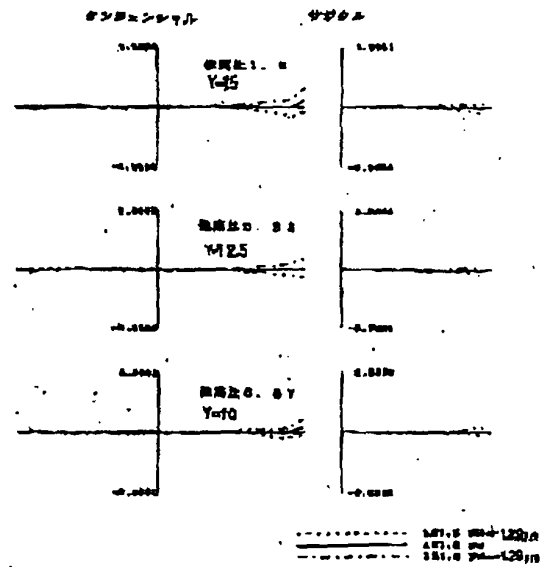
(14)

特開2001-027727

【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 山口 弘太郎
東京都千代田区丸の内8丁目2番3号 株
式会社ニコン内

Fターム(参考) 2B087 KA21 NAD2 NA04 RA32 TA01
TA04 TA06 UA03 UA04
5F046 BA06 CA08 CB12 CB25